

補助事業番号 2018M-125
補助事業名 平成30年度 粘弾性丸ベルト振り駆動機構と柔軟指による物体操り制御
手法補助事業
補助事業者名 岡山県立大学情報工学部 人間情報工学科 バイオメカトロニクス研究
室 准教授 井上 貴浩

1 研究の概要

申請者らの先行研究において開発しつつある拮抗配置型の小径丸ベルトによる振り駆動機構ではリンク長さが120mmとなっており、ロボットフィンガとしては若干大きい。したがって、再設計により二関節化と小型化を同時に実現できる新ロボットを開発し、屈曲角の推定を行う。指先力の要求仕様（10N）になるように、周長100mm以下で直径2mmの丸ベルトの選定する。・丸ベルトの選定には振り動作による長手方向への収縮力を知る必要があるため、フレネー・セレーの関係式を用いて収縮力のモデル化を行う。・小型化により関節角のセンシングが不可能になるため、ベルト振り量に等しい直流モータの両回転角と電流値からロボットフィンガの屈曲角度の推定を行う。上記のように自由空間内での屈曲運動の時間履歴がリアルタイムで推定され算出されるので、上記手順に屈曲角推定値を加えた全パラメータに対して推定法を考案する。・ベルトとモータが常に直線的に位置するように採り入れたモータ自転機構を新設計フィンガに転用し、両固定部にジャイロセンサを搭載する。これによりモータステージ上で自転するモータの角速度を得る。・モータ自転角速度、モータの振り回転角、振り回転速度、電流値が両モータに関して得られるため、これらのすべての情報からフィンガ屈曲角の推定を試みる。・最後に、推定精度を検証するために、定格10Nのロードセルによる実測値との比較を行い提案推定手法の妥当性を明らかにする。

2 研究の目的と背景

近い将来、人と対等に接することができる知的ロボットが各家庭に導入されると言われている。人工知能がもてはやされた1980年代初頭には、最先端のロボット研究者によって、「2000年頃までには人のような高度な知能を備えたロボットが普段の生活や住環境に溶け込み、人と共に働いているだろう」と予測されていた。近年、人工知能の応用事例が増えており将棋や囲碁の対局ではロボットが活躍できるものの、臨機応変な行動が必要とされる住生活環境ではより柔軟な支援ができるロボットを導入できていないのが現状である。

本事業の目的は、ロボットハンドの推定指先力を用いたフィードバックループを構成し安定的かつロバストな物体把持と操り動作を実現することである。これを実現するための特別な機構として、申請者らが開発中の高硬度の粘弾性ベルト振り駆動機構を採用する。本機構と柔軟指を組み合わせたロボットハンドの開発が目的である。また、振り機構に利

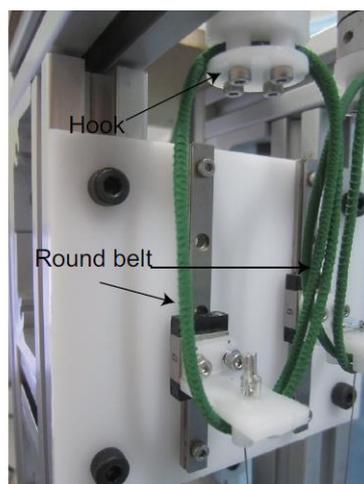
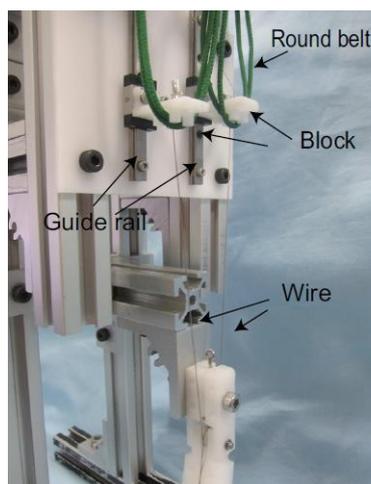
用する丸ベルトはエラストマーの特徴を持つため、駆動機構を改良し線形バネを対抗配置することで高いコンプライアンス性を有するロボットフィンガの開発を目的としている。

3 研究内容

(http://www.rm.dendai.ac.jp/inouelab/inoue/research/houkokusyo_2018M-125.pdf)

ロボット技術が進歩・発展している中で、少子高齢化対策として労働力の代わりにロボットが普及し、今後人とロボットとの接触の機会が増えると考えられる。このような背景のもと、安全で人を傷つけることのないロボットの開発が進められている。このような理由から、本研究では、柔軟な素材である丸ベルトを用いた振り駆動と腱駆動を組み合わせた、新たなアクチュエータを提案し、これを用いて2関節ロボット指を設計する。これは人の筋構造を模倣したもので、これにより高いコンプライアンスを有し、急な外力による衝撃も吸収して障害を防ぐことが可能である。また、駆動源を関節から離れた場所に設置可能で、軽量化が期待できる。実験として、関節ごとに最大屈曲角度と最大指先押し付け力を測定し、丸ベルトの使用本数による比較を行って評価する。

ロボットは近年人の身近なものになっており、機能性だけでなく安全性を備えたロボット開発が必要である。ロボットハンドの研究はさまざまな機構を用いて行われているが、応答の速さ、高い安全性、人と同等の可動域などを有したロボットは研究されていない。そこで、本研究では拮抗側に小径丸ベルト振り駆動とワイヤ駆動を組み合わせた新しいアクチュエータを提案した。これは、人の筋構造を模倣したもので、高いコンプライアンスを有している。したがって、ふいに衝撃が加わった場合でも、力を吸収し障害を防ぐことが可能である。また、丸ベルト振り機構の利点である高い分解能も有しており、細かい動作の実現が可能である。一方で、拮抗側には弾性力を有したゴム輪を用いて、モータなどのアクチュエータなしでも滑らかな伸展運動を可能とした。最大屈曲角度を計測した実験では、Link1, Link2ともに、従来の丸ベルト振り機構に比べ向上し、丸ベルト2本の時は人と同等の屈曲角度が可能であることを示した。また、ワイヤのつなぎ方を工夫することで、各リンクが干渉することなく独立した運動が可能となった。これにより、各関節が連動的に屈曲するロボットハンドに比べ、動作の幅が広がると考えられる。指先押し付け力の実験では、丸ベルトが1本の場合と2本の場合で、それぞれ1 N以下の押し付け力を有していることがわかり、再現性の高さも見られた。今後、



本ロボットフィンガに制御を組み込み、高分解能での微小力制御を実現できれば、繊細な動きが必要とされる分野での活躍が期待できる。

図1. 開発した2関節ロボットフィンガと丸ベルト振り駆動機構

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

開発したロボットの指先による押し付け力をどの程度速く変化させられるかという実験を行っている。この結果、正弦波目標軌道に対して4Hz程度の動作が実現できることを確認した。ヒト指によるタッピング運動（鍵盤を叩くような動き）は6～7Hzであり、もう少しのところまで実現できていると考えており優れている点と思っています。もう1点は、指先力の分解能が高いことが挙げられる。提案機構は丸ベルトを5回程度振ることにより指関節が40°近くまで回転する機構になっている。これはいわゆる減速機の役割となるため、指先力の高分解能化が実現できたと思います。

本研究で得られた知見を基に、ヒトの筋構造により近い駆動機構の開発につながるのではと思っています。具体的には、関節周りの両側に丸ベルトを配置する機構を再度採用し、関節粘弾性と関節動作を独立に制御する手法である。本テーマも並行して進めており、決して振動的挙動を示さないヒトの上肢の滑らかでしなやかな動きを再現できるロボットを製作できると考えています。この点を今後アピールできると考えています。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

当研究室では3つの研究プロジェクトを設けており、そのひとつが生活支援用ロボットの設計と開発です。生活支援ロボットグループは本事業開始とともに立ち上げたグループであり、他グループとの連携をとりながら研究を進めています。一般的に生活支援ロボットの研究分野では、「人間機械協調システム」と言われるように、従来の機械のみの設計や仕様決定ではなく、一連のシステム内に老若男女を問わない人間が入り込んでいます。私が所属する学科では「人間中心の設計思想」を教育研究理念に挙げており、生活支援用機器やロボットの設計には人のダイナミクスや様々な特性を加味しなければなりません。ロボットを設計する上でのこのような観点は今までの私の研究歴にはなかったものであり、この新展開を本補助事業で開始できました。当研究室においてこのような研究の方向性を堅持することで、学生たちにもこのような意識や観点を持たせることができます。つまり教育的効果も高く、大学の研究室での研究を通して高齢化社会に対する時代に相応しい視点を養えると思います。私の教歴では初めての試みであり今後発展させていこうと思っています。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) 知財はございません。
- (2) 発表論文等

- [1] 井上貴浩, 宮田龍一,
収縮力を生じる丸ベルト振り駆動によるロボットの位置・力制御実験
日本機械学会論文集, Vol., No., 2019, 掲載決定
- [2] 荒木佑介, 井上貴浩, 浅海康平,
ヒト型対向3本指ハンドによる柔軟物体の動的ひずみ制御
日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会, 6月, 2019年
- [3] 井上貴浩, 貞光宏樹, 浅海康平,
劣駆動ロボットの安定倒立制御のための異なるサンプリング周期の実装
日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会, 6月, 2019年
- [4] 浅海康平, 井上貴浩,
小径弾性ベルト振り駆動による人型2関節指の微小力制御
日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会, 6月, 2019年
- [5] 井上貴浩, 岡本造, 浅海康平,
大幅な制御周期遅れを有するロボットハンドの物体操り制御
日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会, 6月, 2019年
- [6] 清原健汰, 井上貴浩,
車輪型倒立振子の周期的時変ゲインを用いた走行旋回制御
計測自動制御学会SI部門講演会, 12月, 2018年
- [7] 福本陽一, 井上貴浩
柔軟な指先を持つ多関節ロボットによるなぞり動作に関する研究
計測自動制御学会SI部門講演会, 12月, 2018年
- [8] 荒木佑介, 井上貴浩,
3指ハンドによる柔軟対象物の柔らかい把持の実現
日本機械学会年次大会, 9月, 2018年

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

2関節ロボット指

<https://www.youtube.com/watch?v=Y2Qm45YAh7Y&feature=youtu.be>

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

該当ございません。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東京電機大学 理工学部（トウキョウデンキダイガク リコウガクブ）

住 所： 〒350-0394

埼玉県比企郡鳩山町石坂

担 当 者： 准教授 井上 貴浩（ジュンキョウジュ イノウエ タカヒロ）

担 当 部 署： 事務局 企画広報室（キカクコウホウシツ）

E - m a i l： tinoue@mail.dendai.ac.jp

kouhei_masuda@ad.oka-pu.ac.jp

U R L： <http://www.rm.dendai.ac.jp/inouelab/index.html>